

STUDI PENGARUH PENGAMAN GALVANOMETER TERHADAP KEAKURATAN HASIL PENGUKURAN RESISTOR PADA JEMBATAN WHEATSTONE SEDERHANA

Dedeng Herlan

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta

Jl. Cempaka Putih Tengah-27 Jakarta Pusat (10510), Telp (021) 4244016

email ; herlandoang@gmail.com

ABSTRAK

Pengaman galvanometer pada penggunaan jembatan wheatstone sebagai alat untuk mengukur besar komponen resistor R dikembangkan pada penelitian ini. Pengaman galvanometer yang diteliti memakai bahan resistor yang telah tersedia di pasaran dengan berbagai ukuran. Berdasarkan bentuk strukturnya yang khas dari sebuah jembatan wheatstone, resistor yang digunakan sebagai pengaman galvanometer dalam penelitian ini, yaitu susunan resistor variabel R_3 dan R_4 dengan tipe L yang mengapit salah satu terminal galvanometer. Hasil-hasil pengujian menunjukkan bahwa pengaman galvanometer pada proses pengukuran resistor berjalan dengan baik. Dengan memasang resistor R_3 dan R_4 , ternyata kedua resistor itu tidak berpengaruh pada keakuratan hasil pengukuran resistor R_X . Pengaruh yang dominan yaitu dengan nilai resistor R_X yang sama dan nilai resistor $R_3 = 0\Omega$, nilai resistor R_5 lebih kecil dari nilai paralel antara resistor R_2 dan R_4 .

Kata Kunci : Jembatan Wheatstone, Galvanometer, pengaman, resistor, ketelitian

1. PENDAHULUAN

Alat ukur dan pengukuran besaran listrik merupakan bentuk dengan satu kesatuan yang utuh dalam menilai besaran listrik yang terdiri dari, tegangan, arus, daya, energy, frekuensi, faktor daya. Sedangkan komponen-komponen listrik yang terkait dengan pengukuran besaran listrik antara lain resistor R, inductor L dan kapasitor C. Mengukur besarnya sebuah komponen resistor dapat dilakukan dengan berbagai cara dan hasil yang didapatkan dari pengukuran tersebut tergantung dari tingkat ketelitian alat ukur yang dipakai. Salah satu pengukuran resistor yang sudah dikenal sejak lama yaitu memakai alat ukur jembatan wheatstone baik pabrikan ataupun non-pabrikan. Pada alat ukur ini tersedia satu fasilitas utama yang berfungsi sebagai detektor dengan sensitivitas yang tinggi yang disebut galvanometer. Dalam hal penggunaan jembatan wheatstone atau alat ukur lain baik pabrikan maupun non-pabrikan seperti jembatan potensiometer, hasil pengukuran besaran komponen resistor yaitu dengan cara

membandingkan pada kondisi keseimbangan titik nol galvanometer.[1]

Dalam prakteknya, nilai besaran resistor yang akan diukur mempunyai rentang yang luas sehingga pelaksanaan pengukuran dilakukan berulang kali. Pada kondisi yang demikian sering kali terjadi salah prosedur pengukuran yang menyebabkan galvanometer menjadi rusak dikarenakan beralih fungsi bukan sebagai instrumen detektor akan tetapi menjadi instrumen ukur. Kesalahan prosedur ini diantaranya dikarenakan pengamat mengalami kelelahan melakukan pengukuran secara berulang. Pengukuran ini akan sangat berbeda jika dilakukan dengan alat-alat ukur lain seperti menggunakan alat ukur multimeter analog terlebih lagi menggunakan multimeter digital. Pengukuran dengan multimeter analog dilakukan hanya satu kali dan hasilnya dapat langsung diketahui dari tampilan alat ukur tersebut berikut dengan ketelitiannya

Pengukuran dengan multimeter digital juga dilakukan hanya satu kali saja dan hasilnya dapat langsung diketahui

dari tampilan alat ukur tersebut dalam bentuk angka. Tingkat kesulitan yang dihadapi pada waktu menggunakan alat ukur jembatan Wheatstone adalah tidak adanya kepastian pengaturan dial-dial yang tersedia baik dial untuk pengali maupun dial-dial untuk nilai resistor pembanding. Dengan adanya hal ini, maka setiap operator akan menggunakan instingnya untuk melakukan pengukuran. Operator akan memperhatikan gerakan jarum galvanometer apakah bergerak kekiri atau ke kanan dengan tanpa memperhatikan kerasnya bantingan jarum galvanometer tersebut. Karena titik nol galvanometer berada di tengah, maka cepat atau lambatnya pergerakan jarum ke kiri dan ke kanan atau sebaliknya akan menunjukkan seberapa jauh rentang nilai yang sudah dicapai. Semakin lambat gerak jarum baik ke kiri atau ke kanan, memberikan indikasi bahwa nilai resistor yang diukur mendekati hasil yang diinginkan. Apabila pengukuran dengan jembatan wheatstone dimana jarum berhenti pada titik nol yang berarti titik setimbang telah tercapai, maka operator akan melihat semua angka-angka yang ditunjukkan dial-dial tersebut. Meskipun membutuhkan waktu lama untuk mendapatkan satu hasil pengukuran nilai resistansi sebuah resistor, akan tetapi hasil pengukuran yang dicapai mempunyai ketelitian yang tinggi.

KAJIAN PUSTAKA

Jembatan Wheatstone

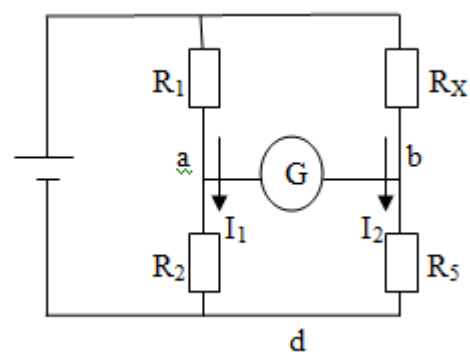
Rangkaian-rangkaian jembatan dipakai secara luas untuk pengukuran nilai-nilai komponen seperti resistor R , induktansi L dan Kapasitor C dan parameter lainnya yang diturunkan secara langsung dari nilai-nilai komponen seperti frekuensi, sudut fasa dan suhu. Karena rangkaian jembatan hanya membandingkan nilai komponen yang tidak diketahui dengan komponen yang besarnya diketahui secara tepat, tentu saja ketelitian hasil pengukurannya akan sangat tinggi sekali. Pengukuran dengan rangkaian jembatan adalah dsengan cara perbandingan, yaitu yang didasarkan

pada penunjukan nol dari kesetimbangan rangkaian jembatan. Oleh karena itu ketelitian pengukuran ini adalah langsung sesuai dengan ketelitian komponen yang tersedia pada rangkaian jembatan, bukan bergantung pada detektor nolnya sendiri. Penelitian yang lebih luas tentang jembatan wheatstone, diarahkan pada pemanfaatan metode jembatan sebagai sensor pembanding seperti pada pengukuran jarak gangguan pada jaringan kabel tanah.[2]. Sedangkan dalam bidang instrumentasi, digunakan sebagai thermometric titrimetric [3] Gambar 1. merupakan sebuah jembatan wheatstone portable (pabrikasi), dengan prinsip kerja seperti tertera pada Gambar 2.



Gambar 1. Jembatan wheatstone portable (pabrikasi)

Rangkaian jembatan mempunyai (empat) lengan resistor, sebuah sumber baterai dan detektor nol yang disebut juga galvanometer Arus yang melalui galvanometer tergantung pada beda potensial antara titik a-d V_{ad} dan potensial titik b-d V_{bd} . Dalam hal ini jembatan disebut setimbang jika beda potensial pada galvanometer sama dengan 0 volt atau dengan kata lain tidak ada arus yang terdeteksi galvanometer.



Gambar 2. Rangkaian jembatan wheatstone

Jika dalam keadaan setimbang arus melalui cabang a-d adalah I_1 sedang arus yang melalui cabang b-d adalah I_2 , maka dapat dituliskan :

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = \frac{E}{R_X + R_5}$$

Tegangan $V_{ad} = I_1 \cdot R_2$ atau

$$V_{ad} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot E$$

Tegangan $V_{bd} = I_2 \cdot R_5$ atau

$$V_{bd} = \frac{R_5}{R_X + R_5} \cdot E$$

Karena dalam kondisi setimbang tegangan pada titik a-d sama dengan pada titik b-d maka berlaku hubungan dalam bentuk perbandingan sebagai berikut :

$$1 = \frac{\frac{R_2}{R_1 + R_2}}{\frac{R_5}{R_X + R_5}}$$

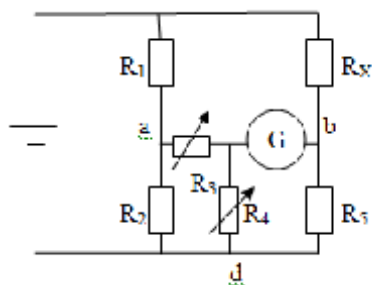
Penyelesaiannya :

$$R_X \cdot R_2 + R_2 \cdot R_5 = R_1 \cdot R_5 + R_2 \cdot R_5$$

$$R_X = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_5 \quad \dots\dots\dots (1)$$

Perancangan Jembatan Wheatstone sederhana

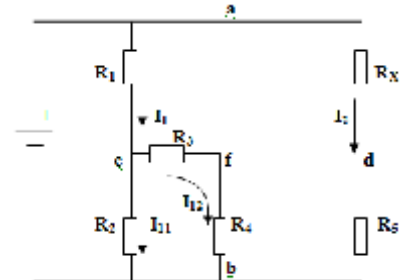
Dalam riset ini di disain sebuah jembatan Wheatstone sederhana dengan pengaman galvanometer. Pengaman ini terdiri dari dua buah resistor R_3 dan R_4 variabel yang ditempatkan pada salah satu sisi terminal galvanometer seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Modifikasi jembatan wheastone dengan pengaman R_3 dan R_4

Dengan penambahan resistor R_3 dan R_4 ini, secara teknis pengamanan galvanometer tercapai, tetapi dengan adanya sisipan resistor R_3 dan R_4 berdampak pada hasil pengukuran nilai resistor R_X yang dapat di analisis sebagai berikut :

Dalam keadaan setimbang dimana galvanometer G menunjukam titik nol, berlaku hubungan tegangan titik FB sama dengan tegangan titik DB seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan tegangan V_{FB} dan tegangan V_{DB}

$$V_{FB} = V_{DB}$$

$$I_{12} \cdot R_4 = I_2 \cdot R_5$$

Arus yang melalui R_X sebesar :

$$I_2 = \frac{V_{AB}}{R_X + R_5}$$

Dengan demikian dapat dituliskan hubungan tegangan V_{DB} dan tegangan V_{AB} :

$$V_{DB} = \frac{R_5}{R_X + R_5} \cdot V_{AB}$$

Arus yang melalui R_1 sebesar :

$$I_1 = \frac{V_{AB}}{R_{AC} + R_{CB}}$$

$$R_{AC} = R_1$$

$$R_{CB} = \frac{(R_3 + R_4)R_2}{R_2 + R_3 + R_4}$$

Tegangan $V_{CB} = V_{CF} + V_{FB}$

Dengan : $V_{CF} = I_{12} R_3$

$$\begin{aligned} V_{FB} &= I_{12} R_4 \\ V_{CB} &= I_{11} R_2 \end{aligned}$$

Substitusi ke persamaan 3 diperoleh :

$$I_{11} \cdot R_2 = I_{12} \cdot R_3 + I_{12} \cdot R_4$$

Karena arus $I_{11} = I_1 - I_{12}$, maka dapat dituliskan menjadi :

$$(I_1 - I_{12}) \cdot R_2 = I_{12} \cdot R_3 + I_{12} \cdot R_4$$

$$I_1 \cdot R_2 - I_{12} \cdot R_2 = I_{12} \cdot R_3 + I_{12} \cdot R_4$$

Atau

$$I_1 \cdot R_2 = I_{12} \cdot R_2 + I_{12} \cdot R_3 + I_{12} \cdot R_4$$

$$= I_{12} \cdot R_4 \cdot \left[1 + \frac{R_2 + R_3}{R_4} \right]$$

$$I_1 \cdot R_2 = V_{FB} \cdot \left[1 + \frac{R_2 + R_3}{R_4} \right]$$

Karena

$$I_1 = \frac{V_{AB}}{R_{AC} + R_{CB}} = \frac{V_{AB}}{R_1 + \left\{ \frac{(R_3 + R_4) \cdot R_2}{R_2 + R_3 + R_4} \right\}}$$

Dengan demikian didapat hubungan V_{FB} dan V_{AB} sebagai berikut :

$$\frac{V_{AB} \cdot R_2}{R_1 + \left\{ \frac{(R_3 + R_4) \cdot R_2}{R_2 + R_3 + R_4} \right\}} = V_{FB} \cdot \left[1 + \frac{R_2 + R_3}{R_4} \right]$$

$$\frac{V_{AB} \cdot R_2}{\frac{R_1 \cdot (R_2 + R_3 + R_4) + (R_3 + R_4) \cdot R_2}{R_2 + R_3 + R_4}} = V_{FB} \cdot \left[1 + \frac{R_2 + R_3}{R_4} \right]$$

$$V_{FB} = \left[\frac{R_2 \cdot R_4}{R_1 \cdot (R_2 + R_3 + R_4) + R_2 \cdot (R_3 + R_4)} \right] V_{AB}$$

(4)

Membandingkan tegangan V_{DB} pada persamaan 2 dengan tegangan V_{FB} , pada persamaan 4. didapatkan :

$$\frac{R_5}{R_X + R_5} = \left[\frac{R_2 \cdot R_4}{R_1 \cdot (R_2 + R_3 + R_4) + R_2 \cdot (R_3 + R_4)} \right]$$

$$1 = \left[\frac{R_2 \cdot R_4 \cdot (R_X + R_5)}{R_1 R_5 (R_2 + R_3 + R_4) + R_2 R_4 R_X + R_2 R_4 R_5} \right]$$

$$R_2 R_4 (R_X + R_5) = R_1 R_5 (R_2 + R_3 + R_4) + R_2 R_4 R_X + R_2 R_4 R_5$$

$$R_2 R_4 R_X = R_1 R_5 R_2 + R_1 R_5 R_3 + R_1 R_5 R_4 + R_2 R_5 R_4$$

$$R_2 R_4 R_X = R_1 R_5 \left[R_2 + R_4 + R_3 \right] \left(1 + \frac{R_2}{R_4} \right)$$

$$R_X = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_5 \left\{ \frac{1}{R_4} \left[R_2 + R_4 + R_3 \left(1 + \frac{R_2}{R_4} \right) \right] \right\}$$

..... (5)

Dengan

penambahan komponen resistor R_3 dan R_4 sebagai pengaman pada jembatan Wheatstone sederhana seperti terlihat pada persamaan (5), menunjukkan adanya satu koefisien dalam tanda kurawal yang di bentuk oleh resistor R_1 , R_2 , R_3 dan R_4 . Nilai R_X berbanding lurus dengan koefisien ini apabila perbandingan R_1/R_2 dan R_5 dipertahankan tetap.

2. METODE PENELITIAN

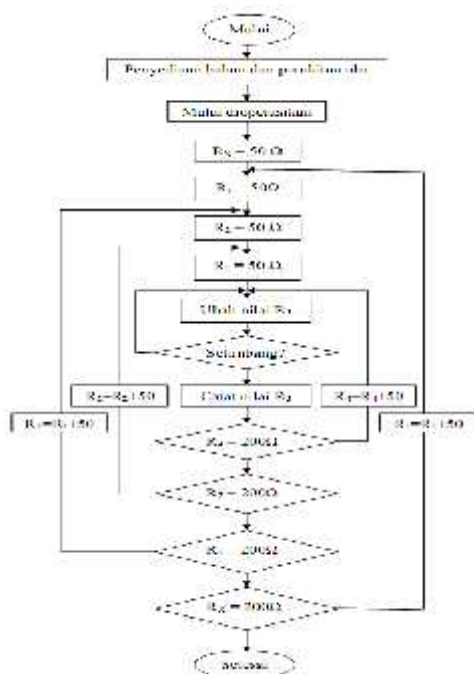
Proses perancangan jembatan Wheatstone sederhana dilakukan dengan 3 (tiga) tahap sebagai berikut : Tahap penyediaan komponen dan perakitan sesuai dengan rancangan awal. Tahap pengujian running test dan tahap pengujian pada resistor yang nilainya sudah diketahui seperti tertera pada diagram alir Gambar 6.

Dalam riset ini, seluruh komponen-komponen listrik yang dipakai adalah komponen yang tersedia di pasaran. Komponen ini meliputi : resistor berbagai ukuran, Alat ukur uamperemeter, Potensio, selector switch, switch SPST, switch SPDT, kabel-kabel penghubung, lempeng tembaga, terminal dan material acrylic. Peralatan bantu untuk perakitan berupa bor listrik, solder listrik dan timah.

Tahap kedua, merupakan tahap percobaan running test dari jembatan Wheatstone. Running test ini untuk mengetahui kekurangan-kekurangan yang terjadi pada saat proses perakitan.

Sambungan-sambungan yang kurang baik kontakannya di solder ulang seperti tertera pada Gambar 7.

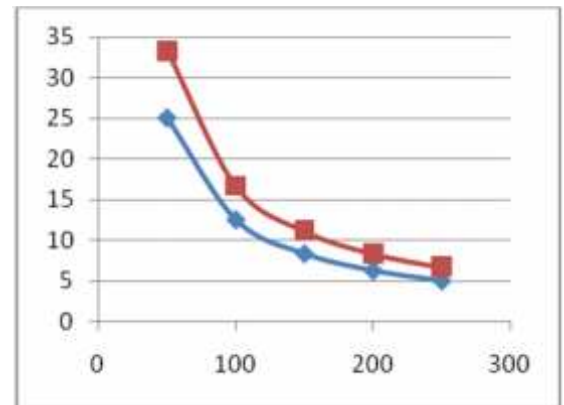
Tahap ketiga, merupakan tahap penggunaan jembatan Wheatstone yang telah melalui running test seperti tertera pada Gambar 8. Gambar 9, Gambar 10 dan Gambar 11. Komponen yang digunakan sebagai tahanan R_x bervariasi dari ukuran 50, 100, 150, 200 dan 250 Ohm. Sedangkan untuk komponen R_1 , R_2 , R_4 tersambung melalui selector switch dan komponen R_3 dan R_5 merupakan potensiometer berukuran maksimum 5000 Ohm. Untuk setiap komponen R_x yang terpasang pada terminalnya, pertama-tama nilai R_1 dan R_2 dibuat nilai yang sama sehingga perbandingannya sama dengan 1 (satu). Selanjutnya dengan melakukan pencarian nilai setimbang, yaitu mengusahakan agar jarum galvanometer menunjukkan titik nol, dilakukan dengan cara mengubah-ubah komponen baik komponen R_3 , R_4 maupun R_5 . Setelah nilai R_5 diketahui, maka komponen R_3 diset nilainya sama dengan nol. Hasil nilai R_5 dari setting ini, akhirnya akan dibandingkan tingkat keakuratannya.



Gambar 5. Diagram alir perancangan jembatan Wheatstone sederhana

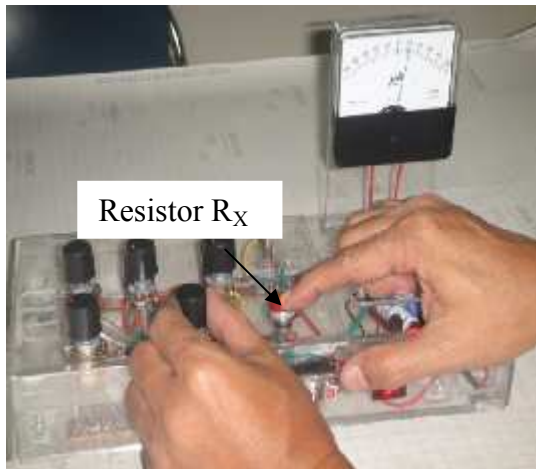
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data - data pengukuran, dibuat kurva perbandingan R_5 dan R_X seperti tertera pada Gambar 6.



Gambar 6. Kurva hubungan R_5 dan R_2

Sesuai dengan kurva pada Gambar 6, tampak bahwa kedua kurva yang mewakili R_X masing-masing 50 Ohm dan 100 Ohm memberikan respon yang sama. Kurva ini menurun secara ekponensial mengikuti besaran komponen R_2 , akan tetapi memberikan nilai R_5 yang tetap sebanding. Kemiringan kedua kurva juga memperlihatkan bahwa perbedaan nilai R_5 yang diperoleh semakin kecil perbandingan terhadap kenaikan nilai resistor R_X . Pada pengamatan ini juga terlihat tidak adanya perubahan yang berarti terhadap nilai besaran resistor yang disebabkan oleh efek panas karena lamanya arus listrik yang melalui masing-masing resistor. Penggunaan pengaman galvanometer ini juga memberikan kepastian pada keamanan galvanometer terhadap kerusakan. Pergerakan jarum galvanometer untuk berbagai nilai resistor R_X baik ke kiri atau ke kanan seperti tampak pada Gambar 7 dan Gambar 8, memberikan respon gerak halus sesuai dengan rancangan awal.



Gambar 7. Operasi pengukuran R_X



Gambar 8. Tampilan Galvanometer posisi kanan

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menyajikan pengamanan galvanometer pada jembatan wheatstone sederhana. Metode yang dipakai yaitu dengan menyisipkan 2 buah resistor R_3 dan R_4 dengan susunan tipe L dan dihubungkan pada salah satu terminal galvanometer. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa pengamanan galvanometer pada proses pengukuran resistor berjalan dengan baik.

Dengan memasang resistor R_3 dan R_4 sebagai pengamanan galvanometer, kedua resistor tersebut tidak mempengaruhi keakuratan hasil pengukuran resistor R_X . Pengaruh yang sangat dominan yaitu dengan nilai resistor R_X yang sama dan nilai resistor $R_3 = 0$, maka besar nilai resistor R_5 lebih kecil dari nilai paralel antara resistor R_2 dan R_4 ,

UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Universitas Muhammadiyah Jakarta yang telah membiayai penelitian ini melalui anggaran penelitian tahun 2012/2013 dengan nomor kontrak 183/R-UMJ/III/2013

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sahat Pakpahan, "Instrumen Elektronik Dan Teknik Pengukuran", edisi ke-2, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993, Hal 148 – 163.
- [2] Hobart W. Willard et. all. "Instrumental Methods Of analysis", 7-th edition, Wadsworth Publishing Company, California, 1988, pp 770-777
- [3] Liao Yu-Xiang et. al, "Pre-Location Approach for 10 KV High Voltage Cable Fault Based on Improved Bridge Method", 2008 International Comfrence on High Voltage Engineering and Application, Chongqing, China, Nopember 2008
- [4] F.M. Chen et. al, "The Investigation on the Sensitivity and Error of Single Bridge", 2010 Asia Fasific Comfrence on Power Electronics and Design